第10卷 增刊
1989年12月

动 物 学 研 究
ZOOLOGICAL RESEARCH

Vol. 10, Sup.
Dec., 1989

滇金丝猴（*Rhinopithecus bieti*）雪季粪便中食物类型的定量分析

吴宝琦 和顺进

（中国科学院昆明动物研究所
中国实验动物云南灵长类中心 灵长类学联合实验室）

摘 要

本研究利用粪粒对一群滇金丝猴的食物摄食量进行了定量分析，并检验了它们的主要食物类型。通过对笼养滇金丝猴消化能力的测定，建立野外滇金丝猴群摄食量方程；结合数理统计进行分析。结果表明，该猴群在雪季每排下0.49千克混合残留物，即应先食入单子叶植物12.5千克，地衣21.7千克，冷杉叶1.1千克（均指干重值）。对解消假设检验显示，冷杉叶是滇金丝猴的很次要食物。

关键词：滇金丝猴，粪便，食物类型，定量分析

我国珍稀特有的滇金丝猴（*Rhinopithecus bieti*）也是国际濒危灵长类动物（IUCN，1988）。近十年来，对它们的食性陆续有所报道，指出滇金丝猴主食为冷杉嫩叶、叶芽苞和花苞等，其次为松萝等，再次则为一些阔叶树叶（李致祥等，1981；木文伟等，1982；白寿昌等，1988）。这些学者的野外考察方法大致属于"观察动物摄食情况或察看地上落下的植物，采原植株鉴定"（National Research Council *et al*., 1981）。近年，Chivers（1984）对长臂猿摄食量的定量分析方法是，测得笼养猿在一定时间内的直接食入量，以此换算出长臂猿在野外相同时间内的食入量；但笼养动物与野外动物的食量可能因活动量不同而有差异。为此最好能作出一个反映差异的系数，但Chivers未提到。此外，所食植物类型的差异也可能反映在食量上。

粪便具有全息性，本研究设想通过测定经*R*. *bieti*消化后的三种类型的植物残留系数，建立粪粒显微定量分析方法；结合数理统计分析一群*R*. *bieti*在雪季的主要食物类型。

---

* 中国科学院基金资助项目。白马雪山自然保护区管理所给予合作。赵其昆副研究员参加部分野外工作。胡志浩副教授指导粪残留植物鉴定并经李永材教授惠允使用实验室和分析仪器。何远辉同志帮助计算部分数据。特致谢忱。

本文1989年7月19日收到，同年11月3日修回。

时间、地点和材料

一、时间

1987年3月中旬至6月初，栖息地仍在降雪，作者进行了野外考察。其中5月全月至6月1日尾随猴群。1987年11月至1989年1月，在实验室作对照实验和猴粪显微分析（但1988年8月至11月再到野外考察，不计在内）。

二、地点

野外：滇西北德钦县白马雪山叶日区域，吾牙普牙村以北水平直线距离（即与海平面平行的平面上两点间一条线段的长度）约3～6公里(实际行程则达到10～14公里)，东西直线长度约为2公里，为尾随猴群范围；海拔高度为3,750～4,100米。实验室：本研究所；云南大学生物系植物学教研室，神经生理学实验室。

三、材料

在上述时间和地点内，尾随一大群*R. bieti*（269只）过程中抽样所得的一个粪粒单样本（即不考虑两种以上不同情况的样本，例如不同猴群、不同活动范围和不同季节的多样本），计400多粒，每粒为样本含量的一个单位。上述抽样保证了样品不是经过有意挑拣采集的（详见方法）；为了进一步保证分配随机性，故实验室分析用的各组样品（本研究为定量组）再用抽签方法（朱秀娟等，1982）从上述样本中抽取。

原理和方法

一、原理

参考中药材粉末显微鉴定方法(徐国钧等，1986)，进行*R. bieti*食物显微定量分析，其步骤为：测定笼养个体对已知摄食植物类型的消化能力，建立有关食入量方程→分离野外猴粪样品中残留物组织→显微定量分析→确定食物类型主次。

二、方法

1. *R. bieti*粪粒抽样方法和食物总体定义：斯奈迪格（1963）指出，为了使在所搜集的样品中包含我们所要了解的资料，必须使用抽样方法，其本质在于随机性，而不许有意挑选采集。为此作者设计了如下方法：尾随猴群，沿布朗运动径迹行走于上述地点中，从冰雪表面拾取粪粒，每一粪便堆积处，拾取1～10粒，一天数次，逐日积累。在上述时间内抽样面覆盖上述全部范围。林外粪粒不抽样。故上述单样本反映的食物总体为：雪季269只含各年龄性别个体的*R. bieti*大群，在海拔高度为3,750～4,100米冷杉纯林和栎—冷杉林中的主要食物类型。

2. 粪粒中残留物显微定量方法：在另一组（50号）样品定性鉴定后（另文表述），将定量组（65号）样品每号置一瓶中，注入清水浸泡；搅散、振摇、沉淀、滗水（不使沉淀流失，可保留长度约1毫米的线虫幼虫和更小的棘口吸虫卵）；重复操作至不混浊为止；用65张15×15厘米编号滤纸过滤后自然干燥24小时，转置温箱中，在40～60°C下再干燥24小时。依序号取出，将混合残留物以分析天平称重；倒入培养皿中作显微分

检，再将各类型残留物分别称重。用SHARP EL-514计算器处理统计数据；几组立方和因计算器不能容纳，则通过计算机处理。

结　果

一、消化能力测定和解消假设制定

1.消化能力测定

将采自栖息地的三类已知*R. bieti*食用的新鲜植物，喂一笼养*R. bieti*进行消化能力的测定。结果表明，以上食物都不可能全部消化吸收。喂入多少重量新鲜植物，就另将同类同重量的一些新鲜植物经干燥处理，代表喂入植物的干重量。食物中的冷杉、云杉属叶子均不食，撤去其它食物后，16小时内可见到摄食少量杉叶的情况。测定值见表1。

表1　一只滇金丝猴消化能力的测定（干重平均值。毫克）

Table 1. The determination of digestive ability on an individual of *R. bieti* (average values of dry weights, mg)

Dry weight	Gramineae & Cyperaceae 禾草科和莎草科	Parmeliaceae & Usneaceae 梅衣和松萝	Tender leaves and buds of *Abies* and *Picea* 冷杉和云杉的嫩叶和芽苞
Quantity compounded fed to 混合饲喂量	13000	10000	5700
Quantity taken in 食入量	6200	4800	2700
Remained quantity of tissue in excrements 粪中组织残留量	75	50	12
Remained quantity/Quantity taken in (Q) 残留量/食入量	0.0121	0.0104	0.0044
Capacity of digestion and absorption (1-Q) 消化吸收能力	0.9879	0.9896	0.9956

由表1，若一类植物经*R. bieti*消化后在粪中组织学水平残留系数为Q，则干物质摄入量方程为：

$$Y=(1/Q)\cdot X \qquad (1)$$

式中，Y为食入量，X为粪中残留量。据此，如已知某一类型植物的Q和X值，则可估算一群猴子在其活动范围内某一段时间里摄入的该类植物干物质量Y。如欲求鲜重值，则可根据该类植物食用部分所含水份的百分比换算。这里Q值即反映消化能力。经分析，在正常情况下，一个笼养动物与野外动物相比较，Q值是稳定的，各类型植物食入量的重量比亦是稳定的，即无显著变化，故测得的Q值具有代表性。这是反映*R. bieti*消化系统的结构和所含细菌是经长期进化而形成的稳定的性状。这提示，任何好意的改变其天然食性的做法是不适宜的，甚至可能是有害的。另文将详述这一分析。

2. 解消假设制定

据引言引述的结果，设解消假设Ho为：在*R. bieti*各类型食物中，冷杉属叶子平均食入量$\bar{Y}_3$为最大，或其数量级不低于单子叶植物平均食入量$\bar{Y}_1$、地衣平均食入量$\bar{Y}_2$。即与过去所提出的冷杉叶食入量总体间无显著差异。否则，将接受如下备择假设H_1：$\bar{Y}_3$的数量级比$\bar{Y}_1$，$\bar{Y}_2$低，即与前述近十年认为*R. bieti*主食冷杉叶这一食性总体间差异显著。

二、粪便中残留物重量和置信推断

1. 粪粒中各类型残留物重量的测定

显微分检出八个食物类型，它们的干重值见表2。

表2　65号粪粒样品的食物干重（毫克）

Table 2. Dry weights of diet from excrements of 65 material sampled (mg)

Number	Residuary compound	M	L	*A*	Sv	Mp	Wl	*L*	S
1	790	300	398	1	20	70	1	0	0
2	510	140	200	0	0	170	0	0	0
3	450	120	210	1	0	119	0	0	0
4	590	185	352	8	0	25	10	10	0
5	428	117	140	5	5	155	6	0	0
6	230	60	90	0	0	80	0	0	0
7	580	100	401	8	12	58	0	0	0
8	920	151	540	10	0	205	14	0	0
9	520	165	346	9	0	0	0	0	0
10	615	20	470	15	0	70	30	10	0
11	595	108	372	0	0	100	15	0	0
12	602	185	240	5	0	170	0	2	0
13	445	132	276	5	15	10	7	0	0
14	438	172	215	0	0	40	10	1	0
15	315	105	156	7	0	35	10	2	0
16	610	245	215	10	0	130	10	0	0
17	475	80	355	10	0	30	0	0	0
18	470	2	418	5	0	20	25	0	0
19	510	257	100	5	0	140	3	5	0
20	505	229	240	0	5	30	0	1	0
21	572	220	215	5	0	130	0	2	0
22	770	20	230	5	0	515	0	0	0
23	425	182	201	17	20	0	1	4	0
24	240	15	86	3	0	128	8	0	0
25	765	210	467	15	0	68	5	0	0
26	695	155	459	8	28	30	15	0	0
27	320	82	183	2	0	50	3	0	0
28	556	245	210	0	0	100	1	0	0
29	485	210	107	4	0	160	4	0	0

续表 2

Continuation of table 2.

Number	Residuary compound	M	L	*A*	Sv	Mp	Wl	*L*	S
30	715	305	203	2	0	200	5	0	0
31	596	203	315	10	3	53	10	2	0
32	704	249	335	5	0	105	10	1	0
33	265	110	98	5	2	45	5	0	0
34	488	160	218	3	0	105	0	2	0
35	465	205	183	2	0	65	10	0	0
36	330	90	120	4	0	110	5	1	0
37	365	163	64	0	10	115	4	1	8
38	642	185	370	5	1	73	6	2	0
39	672	200	360	3	50	37	20	1	1
40	302	130	65	1	0	100	5	2	0
41	370	185	100	5	0	65	6	5	4
42	495	189	165	4	0	131	5	1	0
43	375	117	65	2	0	182	9	0	0
44	577	285	212	5	0	60	15	0	0
45	420	322	40	1	0	55	0	1	1
46	285	97	128	0	0	50	10	0	0
47	424	120	270	4	12	8	10	0	0
48	385	150	186	5	10	24	5	5	0
49	472	213	114	0	19	107	18	1	0
50	405	216	56	6	1	121	4	1	0
51	660	16	527	20	0	30	42	4	1
52	330	55	224	1	0	17	3	0	0
53	391	48	272	2	5	54	10	0	0
54	661	240	170	5	0	241	4	0	1
55	320	59	232	3	0	23	3	0	0
56	200	51	145	1	0	0	3	0	0
57	335	3	201	10	0	115	6	0	0
58	404	78	145	8	0	108	15	0	50
59	450	91	281	5	0	60	13	0	0
60	432	148	200	1	0	80	2	1	0
61	397	162	109	2	0	118	5	1	0
62	434	231	62	5	1	89	1	0	45
63	492	222	210	2	1	51	5	1	0
64	530	205	119	6	0	109	11	0	0
65	361	103	130	4	0	120	4	0	0

表 2 中，M = Monocotyledoneae（单子叶植物纲）；L = Lichens（地衣门）；*A* = *Abies* sp.（冷杉属叶）；Sv = seed vassals（硬种皮，特指华山松子"壳"）；Mp = mass pieces（碎块，包括树皮、果壳、小茎等）；Wl = wide leaves（阔叶类）；*L* =

Larix（落叶松叶）；S = broken stones（碎石子）。

2.置信推断

$n = 65$, d. f. = 60, $P(|t| \geqslant 2.00) = 0.05$

（1）混合残留物

$\bar{x} = 485.8$, $x = 31575$, $s = 149.4$;

（2）单子叶植物纲诸科

$\sum x = 9818$, $\bar{x} = 151.046$, $s = 78.922$, $s_{\bar{x}} = s/n = 9.789$;

推断：$P(132 \leqslant \mu \leqslant 171) = 0.95$;

（3）地衣门诸科

$\sum x = 14666$, $\bar{x} = 225.632$, $s = 122.660$, $s_{\bar{x}} = s/n = 15.204$;

推断：$P(195 \leqslant \mu \leqslant 256) = 0.95$;

（4）冷杉属叶子

$\sum x = 310$, $\bar{x} = 4.796$, $s = 4.375$, $s_{\bar{x}} = 0.530$;

推断：$P(4 \leqslant \mu \leqslant 6) = 0.95$;

（5）碎块类

$\sum x = 5884$, $\bar{x} = 90.523$, $s = 76.316$, $s_{\bar{x}} = 9.46$;

推断：$P(72 \leqslant \mu \leqslant 110) = 0.95$

三、检验

1.粪残留植物正态性检验

据斯奈迪格（1963），一组数据正态性的唯一判据是，对称性和在区间 $x \pm s$ 内数据项目数的比例。本研究对具有相同样本含量的八组大样本中的单子叶植物和杉叶残留量正态性作了检验。

有关公式如下

$S_2 = s_2 - s_1^2/n$; $S_3 = s_3 - 3s_1s_2/n + 2s_1^3/n^2$;

$k_2 = S_2/(n-1)$; $k_3 = nS_3/(n-1)(n-2)$; $g_1 = k_3/k_2\sqrt{k_2}$;

$s_{g_1}^2 = 6n(n-1)/(n-2)(n+1)(n+3)$; $t = g_1/s_{g_1}$

$s_{g_1} = 0.297$

（1）单子叶植物

$s_1 = 9818$; $s_2 = 1881604$; $s_3 = 404018300$;

$S_2 = 398633$; $S_3 = -129243015$;

$k_2 = 6229$; $k_3 = -2083531$;

$g_1 = -4.24$; $t = -14.27$; d. f. = ∞

$g_1 < s_{g_1}$，即 g_1 被其标准误差超过；又 $g_1 < 0$，表示大于平均数的项目数略有过剩，使曲线项峰略偏。但由于 g_1 不是显著性的，见不到单子叶植物粪残留物残留量有脱离正态的证据。

（2）冷杉属叶子

$s_1 = 310$; $s_2 = 2648$; $s_3 = 30706$;

$S_2 = 1170$; $S_3 = 4364516$;

$k_2 = 41.4$； $k_3 = 70361$；

$g_1 = 264.3$； $t = 890$； d. f. $= \infty$

$g_1 \gg s_{g1} > 0$，即 g_1 是显著性的。这个计算本身就能表明冷杉属叶子在粪便中的残留量是异常脱离正态的。此外，表 2 则显示了冷杉属叶子组数据的不连续性和量少的特点。

上述显著性检验是以 d. f. $= \infty$ 和 1 %水准以下的 $t = 2.576$ 来作比的。

2. 解消假设 *Ho* 的检验

将已具Q值判定基础的单子叶植物干重推断值 $x_1 = (132, 171)$，地衣类干重推断值 $x_2 = (195, 256)$，和冷杉属叶子干重推断值 $x_3 = (3.7, 5.8)$，分别代入方程（1），得到平均每排 485.8 毫克混合残留物，相应的这三种类型植物的食入量（克）

$$Y_1 = (1/0.0121)(132, 171) = (10.9, 14.1)(g.)$$

$$Y_2 = (1/0.0104)(195, 256) = (18.8, 24.6)(g.)$$

$$Y_3 (1/0.0044)(3.7, 5.8) = (0.8, 1.3)(g.)$$

检验的结果，Y_1、Y_2 值均比 Y_3 值大 1—2 个数量级，是显著性的。这样，前述解消假设 *Ho* 被拒绝，从而导致备择假设 H_1 被接受。

小 结 和 讨 论

1. 本研究结果以滇金丝猴粪粒显微定量分析为基本手段而取得。在国际上和国内仍普遍使用引言所述方法情况下，这是一种新的尝试。由于作了动物消化能力对照测定，对野外滇金丝猴群的平均食入量比例分配即可做出可靠估算；在以后的研究中也是可以检验的。

2. 解消假设 *Ho* 检验表明，冷杉属树叶（嫩叶簇和叶芽苞等）食入量平均值 $\overline{Y}_3 = 1.1$ 小于单子叶植物 $\overline{Y}_1 = 12.5$ 和地衣类 $\overline{Y}_2 = 21.7$ 一个数量级；用置信区间的推断值对零假设检验，则低至 2 个数量级。因其显著性而拒绝 *Ho*，接受备择假设 H_1。简言之，冷杉树类叶子等寒温带或高寒山区的裸子植物叶类是 *R. bieti* 很次要的食物，单子叶植物和地衣类则为最基本食物。

粪便残留物中的另外五类型暂未测Q值，不能推断相应的食入量所占百分比。根据植物组织结构，仅推测碎块类Q值应大些，其Y值可能少有超过上述两种主要类型的；阔叶类叶子Q值可能最小，其Y值有可能挤至与上述两主要类型数量级相同的水平。

3. 两组数据正态性检验表明，单子叶植物在粪便残留量总体中属正态或基本正态；由于残留量是正态性的，且食物的消化过程可视为反复随机化过程，故能反映这类植物摄入量亦是正态性的。其摄食生态学解释应是，在 *R. bieti* 各食物类型中，单子叶植物是最基本的和时时摄入的食物类型之一，在林内外任何场合很少因其它可供选择的食物类型的摄取而出现明显的偏倚。同理，冷杉叶的低残留量及其明显的非正态性，表明平时摄入量存在显著的波动和时断时续；尽管它不太可能出现令人意外的大值，但却可能出现在预料中的零值；这也许是因为在 *R. bieti* 漫游摄食（根据前述食物总体定义，这些摄食只反映在冷杉和栎—冷杉混交林内的行为）中，很少摄食冷杉叶，并经常被其它可供选择的食物类型的摄取打断一个显著的时间区间。

4.根据本研究对样本代表的食物总体的定义，提出以下推论：

（1）在雪季，*R. bieti*所能选择的各种类单子叶植物地面以上部位都是干枯的，但其食量比例仅次于地衣。这表明，在万物春机发陈复苏并进入雨季后，草被成批返青，可食资源量表现为突然增加，该类型植物的食入量将上升到与地衣食入量相当或超出的程度。

（2）此次长达一个月的尾随观察发现，在雪季，该区域该大群*R. bieti*频繁地倾群越出林外，活动于仅生长着草被和稀疏矮小灌丛的空旷地带。但是作者1986年尾随观察同一研究区域内的一群*R. bieti*的雨季行为，则发现其家域的绝大部分在林内（吴宝琦等，1988）。因此似有理由推测，*R. bieti*在雨季较少越出林外觅食；原因可能如上述分析，即林内可供选择的食物资源量的增加。相反，进入雪季后，生态环境中的有关制约*R. bieti*活动的因子（即食物、竞争者和天敌）在量的方面出现消长：原献相对林外草地草源贫乏且生长高度较低的林下草被资源量更形贫乏；高山放牧活动因牧民和牛群迁向谷底而消失，草场腾空，可供采食；其它季节往来于分水岭两侧的路人，砍伐者，采集山珍者，采药者和狩猎者近乎消失，威胁减少。综合这三方面因素，可能促使*R. bieti*出现上述雪季行为。由此，似也有理由推测，雪季中*R. bieti*常到林外环境中活动为其规律；此时最利于观察行为细节和过程，故也为研究*R. bieti*社会行为和育仔行为的最佳时刻；地面运动行为研究也以此时最佳。

（3）严寒的雪季中，万物均遭肃杀。许多被子植物叶均纷纷枯落，似乎仅栎树和杜鹃树例外。但曾被认为是*R. bieti*主食的冷杉叶仍极丰茂而滇金丝猴对它摄食量极低。这表明，进入雨季后，随着其它食物种类的萌发，摄食杉叶的量可能会更受影响，甚至降到比雪季更低的水平。

参 考 文 献

木文伟等 1982 白马雪山东坡滇金丝猴群、活动路线和食性的初步观察。兽类学报 2（2）：125—131。

白寿昌等 1988 滇金丝猴的数量分布及食性调查。动物学研究 9（增刊）：67—75。

李致祥等 1981 滇金丝猴的分布和食性。动物学研究 2（1）：9—16。

吴宝琦等 1988 一个滇金丝猴群生态行为的初步观察。动物学研究 9（4）：373—384。

朱秀娟、洪再吉编 1982 概率统计问答150题。pp 1—356. 湖南科学技术出版社。

徐国钧主编 1986 中药材粉末显微鉴定 pp〔1〕—〔10〕，1—810. 人民卫生出版社。

斯奈迪格，G. W. 著，杨纪珂等译 1963 应用于农学和生物学实验的数理统计方法。pp216—225. 科学出版社。

斯蒂尔，R. G. D.和托里，J. H.著，杨纪珂等译 1979 数理统计的原理和方法。科学出版社。

Chivers, D. J. *et al*. 1984 Natural and sythetic diets of Malayan gibbons. Selected procedings of tenth congress of the international primatological society, held in Nairobi, July 1984. In Else, J. G. *et al*; 1986 *Primate ecology and conservation*. *Vol* 2. pp39—56. Cambridge press, London.

IUCN 1988 1988 *IUCN red list of threatened animals*. ppxvii-xviii, 9. IUCN.

Subcommittee on Conservation of Natural Populations, Committee on Nonhuman Primates, Division of Biological Sciences, Assembly of Life Sciences, National Research Council 1981 *Techniques for the study of primate population ecology*. pp132—134. National Academy Press, Washington D. C.

A MICRO-QUANTITATIVE ANALYSIS OF TYPES OF RESIDUARY DIETS AMONG EXCREMENTS OF A GROUP OF *RHINOPITHECUS BIETI* IN SNOWING SEASON*

Wu Baoqi** He Shunjing

(Joint Laboratory of Primatology, KIZ & YNLPC)

This study delt with quantitative analysis for diets taken in by a group of *Rhinopithecus bieti* in wild, and tested its principal types of diets among the residues from its excrements. Through the determination of digestive ability from an individual of *R. bieti* in captivity, an equantion about quantity of diets taken in by wild *R. bieti* groups was established. The results have indicated that, in this group of *R. bieti*, Per 0.49 kg residuary compounds excreted must correspond to 12.5 kg of grass belonging to Monocotydoneae, 21.7 kg of lichens, but only 1.1 kg of leaves of *Abies* sp. etc. taken in (all are dry weights). These data had been analysed with statistics, and test of null hypothesis indicated that *Abies* sp. are less important diets than the two above.

Key words: *Rhinopithecus bieti*, Excrement, Types of diets, Quantitative analysis

* Project supported by the Science fund of Chinese Academy of Sciences.

** Address: Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica, Kunming.